

В роботі проведено порівняльний аналіз запропонованого методу каналного кодування, що базується на розпізнаванні інформаційних сигналів за їх фазовими портретами з використовуваними кодами. Показано, що запропоноване, так зване кластерне кодування, забезпечить можливість розпізнавання бітів інформаційної послідовності при значно менших значеннях відношення сигнал/шум у порівнянні з відомими кодами

Ключові слова: завадостійке кодування, лінійні блокові коди, згорткові коди, турбокоди, фрактальні сигнали, синхронізація, кластерні коди

В работе проведен сравнительный анализ предложенного метода каналного кодирования, основанный на распознавании информационных сигналов по их фазовым портретам с используемыми кодами. Показано, что предложенное, так называемое кластерное кодирование, обеспечит возможность распознавания битов информационной последовательности при значительно меньших значениях отношения сигнал/шум по сравнению с известными кодами

Ключевые слова: помехоустойчивое кодирование, линейные блочные коды, свернутые коды, турбокоды, фрактальные сигналы, синхронизация, кластерные коды

УДК 621.391

МЕТОД КЛАСТЕРНОГО КОДУВАННЯ

Р.Л. Політанський

Кандидат фізико-математичних наук, доцент
Кафедра радіотехніки та інформаційної
безпеки

Чернівецький національний університет
ім. Ю. Федьковича
вул. Сторожинецька, 101, м. Чернівці, Україна,
58000

Контактний тел.: 067-682-36-95

E-mail: polyr@mail.ru.

М.М. Климаш

Кафедра телекомунікацій
Національний університет «Львівська
політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

Контактний тел.: 050-431-98-07

E-mail: mklimash@polynet.lviv.ua

Вступ

З моменту започаткування завадостійкого кодування, що знайшло відображення у працях Шенона, Хемінга і Голя на початку 1940 розроблена низка завадостійких кодів, здатних виправляти помилки при різних граничних значеннях сигнал/шум (табл. 1).

Таблиця 1

| Назва методу кодування | Граничне відношення сигнал/шум (децибелі) |
|--------------------------------------|---|
| Лінійне блокове кодування | 10-12 |
| Кодування фрактальними сигналами [1] | 10 |
| Згорткове кодування | 8 |
| Решіткове кодування | 6 |
| Турбокоди | 2 |
| Система синхронного відгуку [2] | -10 |

В останній час проявляється інтерес до застосування фрактальних сигналів, що є об'єктом дослідження. Це обумовлено можливістю їх використання в різних галузях науки і техніки.

Авторами [1] запропонований метод каналного кодування з використанням фрактальних сигналів у якості носійних. Декодування бітів повідомлення у даному методі здійснюється за значеннями параметра Херста H фрактального сигналу тривалістю, що до-

рівнює часовому інтервалу інформаційного біту. Мінімальне граничне значення відношення сигнал/шум, при якому можливе розпізнавання бітів інформаційної послідовності дорівнює 10 дБ.

Алгоритм кластерного кодування

Нами запропонований метод кодування каналу зв'язку з використанням кластерів, утворених сукупністю точок у фазовому просторі фрактальних дискретних сигналів, що відповідають інформаційним бітам 0 та 1.

Значення відліків фрактального сигналу визначалися наступним виразом [1,3]:

$$X^{(H)}(i) \approx \frac{1}{\left(H + \frac{1}{2}\right)} \cdot \left\{ \sum_{j=0}^{[n(i+1)-1]} \left[(i+1) - \frac{j}{n} \right]^{H-1/2} \cdot \xi(j) - \sum_{j=0}^{i \cdot n - 1} \left(i - \frac{j}{n} \right)^{H-1/2} \cdot \xi(j) \right\}, \quad (1)$$

де H – параметр Херста;

n – параметр масштабування у часі самоподібного сигналу (мінімальне значення цього параметру дорівнює 1);

$X^{(H)}(i)$ – значення i -того відліку сигналу з параметром Херста H ;

$\xi(i)$ – значення i -того відліку сигналу з гаусовим розподілом амплітуд, який має нульове математичне сподівання та дисперсію σ^2 :

$$p(\xi) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp \left\{ -\frac{\xi^2}{2 \cdot \sigma^2} \right\}. \quad (2)$$

Оскільки у розглядуваній системі кодування інформаційним бітам відповідають кластери у фазовому просторі, утворені відліками носійного сигналу, то запропонований метод кодування ми назвали кластерним кодуванням.

На рис. 1 приведені кластери, утворені множиною точок фазового простору, що відповідають інформаційним бітам 0 та 1 при 300 відліках носійного сигналу.

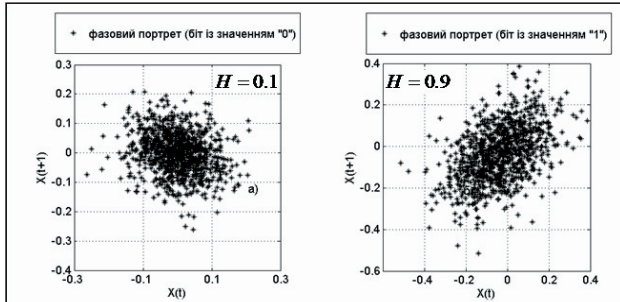


Рис. 1. Кластери у фазовому просторі, що відповідають інформаційним бітам «0» та «1» а) і б) відповідно

При цьому біту зі значенням «1» відповідає кластер, що є сукупністю точок у фазовому просторі, утвореною N відліками носійного сигналу, генерованого при значеннях параметра Херста $H=0.9$, а біту зі значенням «0» – кластер, утворений N відліками носійного фрактального сигналу зі значенням параметра $H=0.1$.

Структурна схема передавання інформації з кластерним кодуванням каналу приведена на рис. 2.

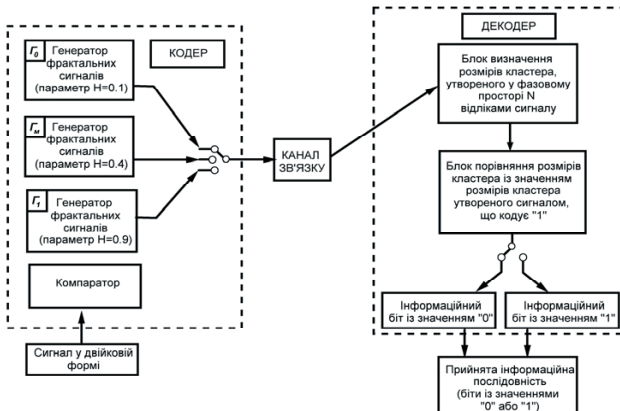


Рис. 2. Структурна схема системи передавання інформації з кластерним кодуванням

Схема працює наступним чином:

При надходженні на вхід компаратора логічної одиниці вмикається генератор носійного сигналу G_1 зі значенням параметра Херста $H=0.9$, а при надходженні логічного нуля вмикається генератор сигналів G_0 зі значенням параметра Херста $H=0.1$.

З метою забезпечення самосинхронізації передавальної та приймальної сторін системи зв'язку у проміжку між передаванням генерованих сигналів, що відповідають сусіднім бітам інформаційної послідов-

ності у канал зв'язку поступають маркерні сигнали, формовані генератором G_m зі значенням параметра Херста $H=0.4$.

З приведеної на рис. 3 часової діаграми бітової послідовності 1100111100 переданої запропонованою системою можна зробити висновок про її хаотичну поведінку.

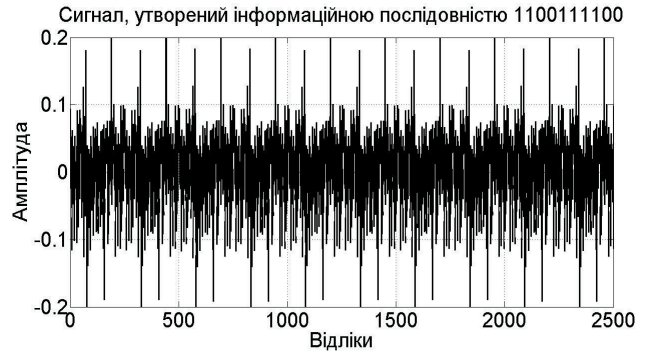


Рис. 3. Часова діаграма інформаційної послідовності 1100111100, закодованої системою з каналним кластерним кодуванням при умові відсутності шуму в каналі. Параметри моделювання сигналу: 200 відліків сигналу, що представляє інформаційне повідомлення та 50 відліків маркерного біту

Декодування інформації відбувається шляхом порівняння значення параметру розпізнавання прийнятого фрактального сигналу зі значенням параметру розпізнавання фрактального сигналу, що відповідає логічній одиниці, переданого по каналу без шуму.

В якості параметру розпізнавання вибиралася величина, що дорівнює кореню квадратному із суми квадратів відстаней від точок кластера до його центру (надалі називатимемо цю величину параметром розпізнавання кластера):

$$d_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\left(X^{(0.9)}(i) - X_0 \right)^2 + \left(Y^{(0.9)} - Y_0 \right)^2 \right]} \quad (3),$$

$$d_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\left(X^{(0.1)}(i) - X_0 \right)^2 + \left(Y^{(0.1)} - Y_0 \right)^2 \right]} \quad (4),$$

де d_1 – параметр розпізнавання кластера, утвореного сигналом, що передає біт зі значенням «1»;

d_0 – параметр розпізнавання кластера, утвореного сигналом, що передає біт зі значенням «0»;

N – кількість відліків носійного сигналу;

$X_0 = \sum_{i=1}^N X(i)/N$, $Y_0 = \sum_{i=1}^{N-1} X(i+1)/N$ – координати центра кластера;

$X^{(0.9)}(i)$ – i -ий відлік носійного сигналу, що формується бітом зі значенням «1» (верхній індекс є значенням параметру Херста носійного сигналу $H=0.9$);

$X^{(0.1)}(i)$ – i -ий відлік носійного сигналу, що формується бітом зі значенням «0» (верхній індекс є значенням параметру Херста $H=0.1$).

При цьому має місце співвідношення:

$$\begin{aligned} Y^{(0.1)}(i) &= X^{(0.1)}(i+1) \\ Y^{(0.9)}(i) &= X^{(0.9)}(i+1) \end{aligned} \quad (5)$$

На рис. 4 приведені залежності параметрів розпізнавання кластерів носійних сигналів від кількості їх відліків.

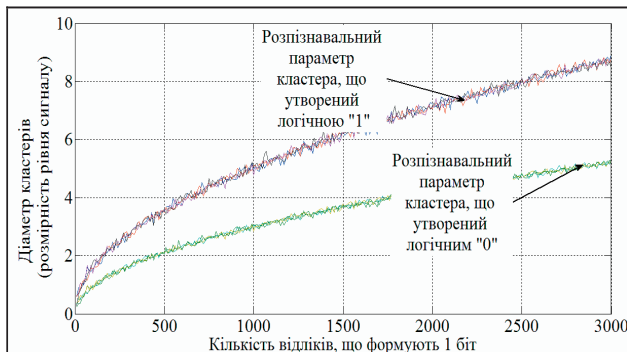


Рис. 4. Залежність параметрів розпізнавання кластерів сформованих інформаційними бітами «0» та «1» при відсутності шуму в каналі

Похибка визначення параметру розпізнавання кластера, що виникає внаслідок особливостей генерування програмним середовищем MATLAB множини з розподілом Гауса визначалася шляхом багатократного проведення однотипних обчислень з подальшим усередненням отриманих результатів.

Результати обчислень показують, що похибка визначення розпізнавального параметру кластера не перевищує 0.5 при значеннях розпізнавального параметра кластера $1 \div 10$.

Завадостійкість систем кластерного кодування

Ефективність кластерного каналного кодування оцінювалась для каналу з білим адитивним гаусовим шумом (AWGN).

Очевидно, що в запропонованій системі можливе безпомилкове розпізнавання сигналів логічного нуля та одиниці при умові, що різниця між значеннями параметра розпізнавання кластерів, що відповідають логічним 1 і 0 є більшою за абсолютною величиною від похибки обчислення:

$$|d_1 - d_0| > \epsilon, \quad (6)$$

де ϵ – похибка у визначенні параметра розпізнавання кластера.

Дослідження впливу шуму каналу на якість передавання інформації здійснювалася шляхом додавання до переданого сигналу сигналу шуму з гаусовим розподілом амплітуд амплітудами (2). Генерування шумового сигналу з таким розподілом здійснювалося за допомогою відповідної функції програмного середовища MATLAB:

$$X_r^{(H)}(i) = X^{(H)}(i) + R(i), \quad (7)$$

де $X_r^{(H)}(i)$ – значення відліків сигналу на вході приймача;

$X^{(H)}(i)$ – значення відліків сигналу на виході передавача;

$R(i)$ – значення відліків сигналу шуму в каналі.

Якість передавання інформації в умовах наявності шуму в каналі визначалася за мінімальним значенням співвідношення сигнал/шум, при якому можливе розпізнавання інформаційних бітів:

$$\text{SNR} = 10 \cdot \lg \left[\frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right]. \quad (8)$$

Потужності шумового та носійного сигналів приймаються рівними значенням їх дисперсії:

$$P_{\text{ш}} = D(R), \quad (9);$$

$$P_c = D(X^{(H)}) \quad (10).$$

Значення дисперсії D шумоподібного сигналу задавалася при генеруванні числових рядів, підпорядкованих розподілу Гауса.

Дисперсія фрактального сигналу визначалася з використанням стандартної функції програмного середовища MATLAB.

Залежність між значеннями сигнал/шум і кількістю відліків на 1 біт, при яких можливе розпізнавання логічного нуля та одиниці приведені на рис. 5.

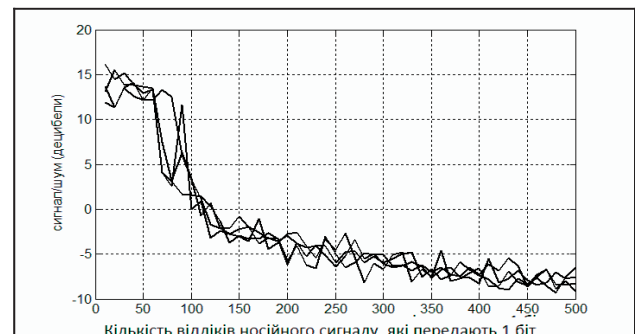


Рис. 5. Залежність мінімального значення сигнал/шум логічного 0 і 1 від кількості відліків на 1 біт

Як бачимо співвідношення $c/\text{ш}$, при якому можливе розпізнавання зменшується від 10 дБ при 50 відліках до 0 дБ при 100 відліках, а при 500 відліках це співвідношення становить -7.5 дБ. Похибка обчислення співвідношення $c/\text{ш}$ становила 2.5 дБ. Підвищення точності обчислень можливо при значному збільшенні обсягів обчислень шляхом використання технологій паралельного програмування на кластерних обчислювальних системах.

Схема синхронізації кодера та декодера

Моделювання процесу самосинхронізації приймальної та передавальної сторін системи передавання інформації здійснювався за допомогою маркерних сигналів, що передаються в проміжку між передаванням сусідніх інформаційних бітів (рис. 6).

Тривалість маркерного сигналу зазвичай є меншою ніж тривалість носійних сигналів, сформованих інформаційними бітами.

У випадку ідеальної синхронізації сигналів (рис. 6,а) момент приймання інформаційного біту розпізнається приймачем без будь-якої похибки. Якщо виникає помилка в синхронізації, то можливе приймання маркерного сигналу в якості інформаційного.

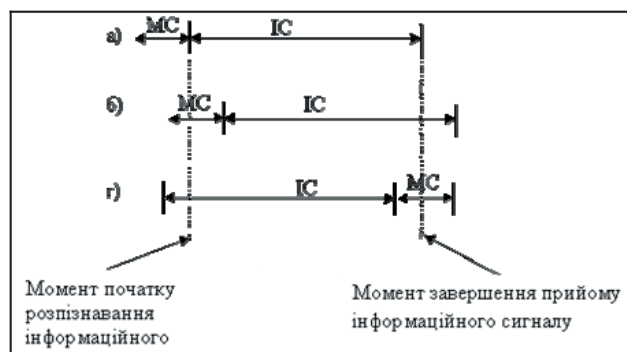


Рис. 6. Маркерна синхронізація (а – помилка синхронізації відсутня; б – синхронізація відбувається із запізненням; в – синхронізація відбувається із випередженням). IC – інформаційний сигнал, MC – маркерний сигнал



Рис. 7. Дослідження якості розпізнавання сигналів при різних значеннях помилок синхронізації

Результати чисельного моделювання процесу синхронізації у системі кластерного кодування здійснювалися при тривалості маркерного сигналу рівною 50 відлікам, а тривалість сигналів, що передають інформаційні біти змінювалась у межах від 50 до 500 відліків при значеннях помилки синхронізації 10, 20, 30 та 40 відліків маркерного сигналу (рис. 7).

Наявність похибки синхронізації призводить до зниження завадостійкості системи передавання інформації.

Висновки

1. Завадостійкість системи зростає зі збільшенням кількості відліків.
2. Запропонована система є стійкою до впливу каналного шуму. За умов проведення досліджень граничне значення сигнал/шум, при якому інформаційні біти ще розпізнаються, становить -10 дБ.
3. Система забезпечує передавання інформації в умовах значення помилки синхронізації рівною 80% тривалості маркерного сигналу. Це створює можливість використання маркерного сигналу незначної тривалості порівняно з тривалістю носійних сигналів.
4. Характеристики запропонованої системи є порівняними з характеристиками системи синхронного відгуку.
5. Алгоритм кодування та декодування фрактальним сигналом, що використовується в даній системі є простішим у порівнянні з турбоходами, що уможливорює її використання у надвисокочастотних (НВЧ) каналах зв'язку.

Література

1. Васюта, К. С. Метод передачи информации, основанный на манипуляции показателя Херста фрактального («цветного») гауссовского шума. / К. С. Васюта // Системи обробки інформації. – 2010. – Т. 6, № 87. – С. 62-65.
2. Olga I. Moskalenko Generalized synchronization of chaos for secure communication: Remarkable stability to noise. / Olga I. Moskalenko, Alexey A. Koronovskii, Alexander E. Hramov. // Physics Letters. – 2010. – A 374. – P. 2925–2931.
3. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 261 с.

Abstract

The research is dedicated to the formalization of the basic concepts of technology “maturity model”, based on the CMMI (Capability Maturity Model Integration), in order to form a mathematical model of quality control of software development process. The discrete variables are used as control actions, determining the level of ability of individual private practices and focus areas. It is proposed to design a mathematical model based on two particular criteria: “maturity” and “financial costs.” For the first time, on the basis of discrete variables the functions of the grade of membership are synthesized to a given maturity level of the organization that is the basis for the formation of the objective functions of the model. The research results can be used at the strategic control of the quality level of software development process in limited resources conditions. For the present, there are no methods and mathematical models of quality control at the planning period, taking into account resource limitations. This presupposes the following action plan to assess and control the quality level: the synthesis of the mathematical model, the development of algorithms based on dynamic programming schemes, the synthesis of information technology of quality control on the basis of developed models and algorithms.

Keywords: quality control, software development process, maturity model, level of maturity